

中南大学

2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

材料科学基础

一、(每小题 20 分, 共 40 分) 从以下题中任选 2 道。

1. 说明材料中的结合键与材料性能的关系。
2. 任意选择一种材料, 说明其可能的用途和加工过程。
3. 说说你对材料的成分、组织、工艺与性能之间关系的理解。
4. 谈谈你所了解的新材料、新工艺。
5. 试举例分析材料加工过程对材料使用性能的影响。
6. 谈谈你对高强度材料的理解。

二、(共 70 分) 根据图 10-1 所示的二元相图, 回答下列问题。

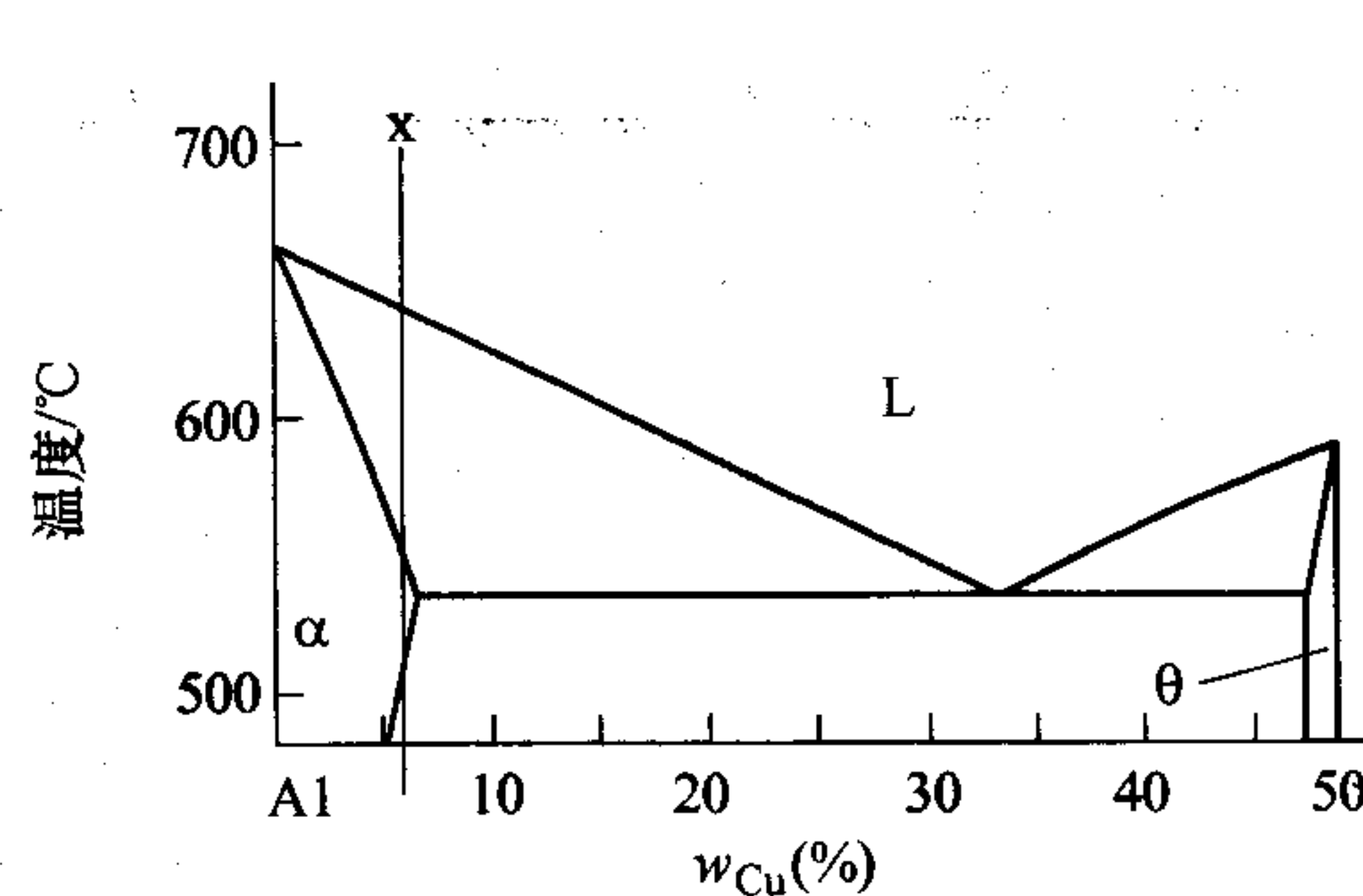


图 10-1 第二题图

1. (15 分) Al 为面心立方金属, 写出单胞中的原子数、致密度、配位数、密排面与密排方向。在单胞中画出密排面与密排方向。指出 α 的晶体结构。 α 与 θ 均是 Al 与 Cu 相互作用的结果, 说明 α 与 θ 的结构差别。
2. (15 分) 何谓再结晶全图和起始再结晶温度? 制订一种测定再结晶温度

的方案，简述原理。

3. (20 分) 比较纯铝平衡结晶时与 x 合金平衡结晶时的异同点。分析 x 合金平衡结晶和非平衡结晶中组织转变的过程。
4. (20 分) x 合金塑性变形后的组织、性能有何变化？用位错理论解释 x 合金的室温强化措施。

三、(共 20 分)

1. 写出图 10-2 中 x 合金的成分。

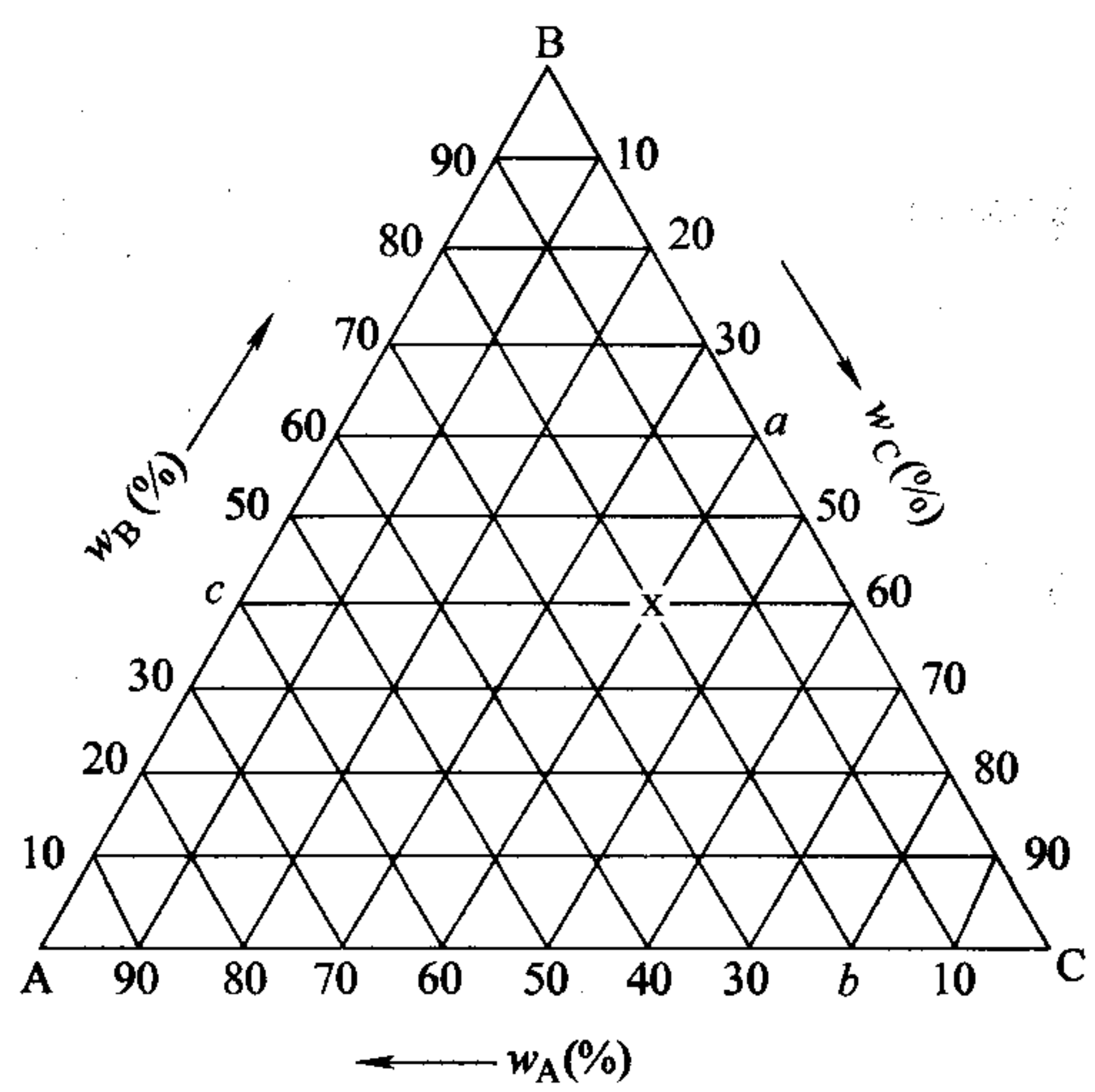


图 10-2 第三题第 1 小题图

2. 分析图 10-3 中 V 合金的平衡结晶过程。

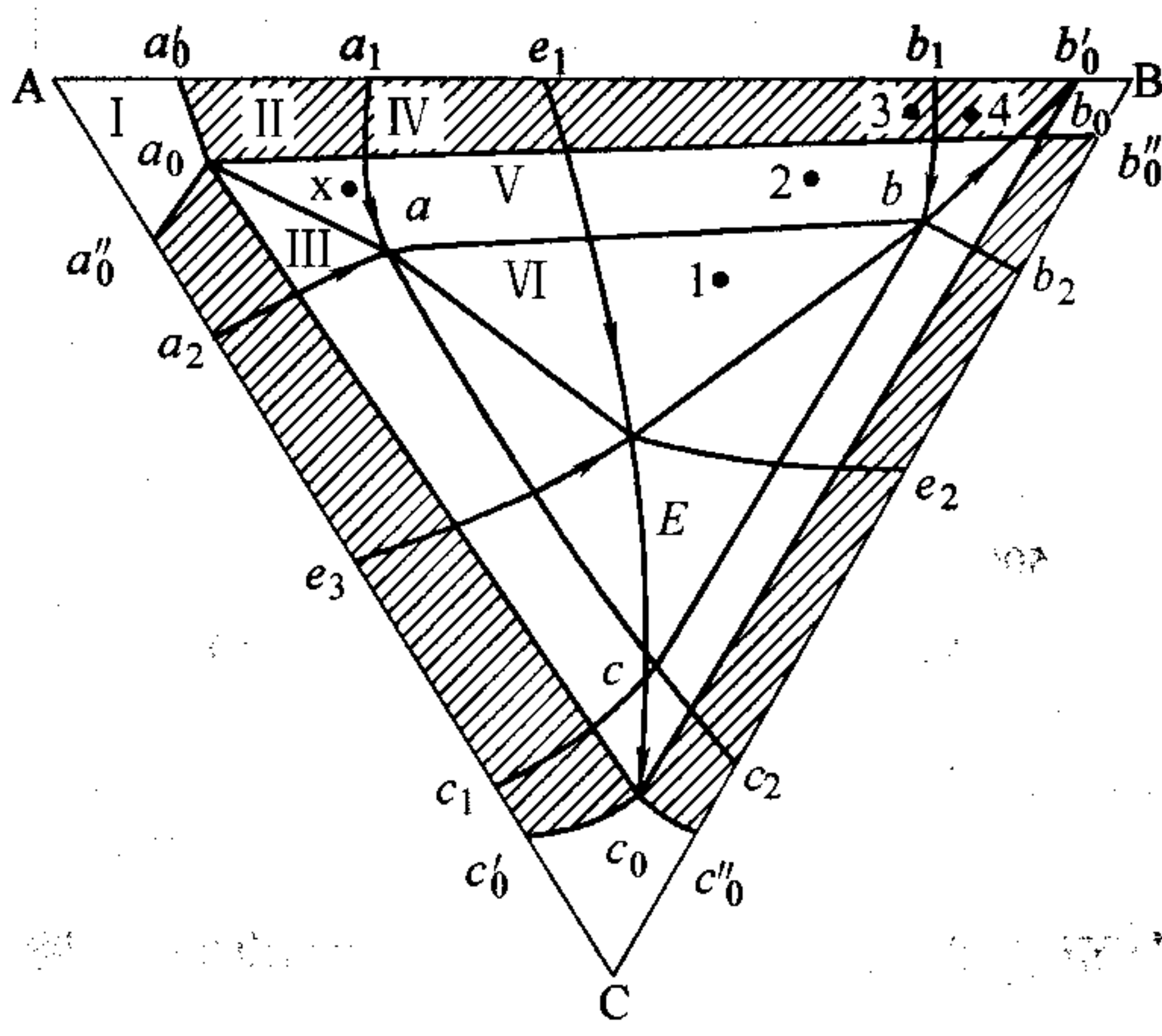


图 10-3 第三题第 2 小题图

四、(20 分) 解释常用的扩散机制。有两种激活能分别为 $E_1 = 83.7\text{kJ/mol}$ 和

$E_2 = 251 \text{ kJ/mol}$ 的扩散，观察在温度从 25°C 升高到 600°C 时对这两种扩散的影响，并对结果作出评述。

标准答案

一、

1. 参考答案：材料结合键的类型及结合能的大小对材料的性能有重要的影响，特别是对物理性能和力学性能。

结合键越强，熔点越高，热膨胀系数就越小，密度也越大。金属具有光泽、高的导电性和导热性、较好的机械强度和塑性，且具有正的电阻温度系数，这就与金属的金属键有关。陶瓷、聚合物一般在固态下不导电，这与其非金属键结合有关。工程材料的腐蚀实质是结合键的形成和破坏。

晶体材料的硬度与晶体的结合键有关。一般共价键、离子键、金属键结合的晶体比分子键结合的晶体的硬度高。结合键之间的结合键能越大，则弹性模量越大。工程材料的强度与结合键能也有一定的联系。一般结合键能高，强度也高一些。材料的塑性也与结合键类型有关，金属键结合的材料具有良好的塑性，而离子键、共价键结合的材料塑性变形困难，所以陶瓷材料的塑性很差。

2. 参考答案：如 Al-Mg 合金。作为一种可加工、不可热处理强化的结构材料，由于具有良好的焊接性能、优良的耐蚀性能和塑性，在飞机、轻质船用结构材料、运输工业的承力零件和化工用焊接容器等方面得到了广泛的应用。

根据材料使用目的，设计合金成分，考虑烧损等情况进行配料，如 Al5Mg 合金板材，实验室条件下可在电阻坩埚炉中 750°C 左右进行合金熔炼，精炼除气、除渣后 720°C 金属型铸造， $430 \sim 470^\circ\text{C}$ 均匀化退火 $10 \sim 20\text{h}$ 后，在 $380 \sim 450^\circ\text{C}$ 热轧，再冷轧至要求厚度，在电阻炉中进行稳定化处理，剪切成需要的尺寸或机加工成标准试样，进行各种组织、性能测试。

3. 参考答案：材料的成分、组织、工艺与性能之间的关系非常紧密，互相影响。材料的性能与它们的化学成分和组织结构密切相关，材料的力学性能往往对结构十分敏感，结构的任何微小变化，都会使性能发生明显变化。材料工作者的最终目标是根据最终需求，设计出合理成分，制订最佳生产流程，而后生产出符合要求的材料。

如钢中存在的碳原子对钢的性能起着关键作用，许多金属材料中一些极微量的合金元素也足以严重影响其性能。然而由同一元素碳构成的不同材料如石墨和金刚石，也有着不同的性能，有些高分子的化学成分完全相同而性能却大不一样，其原因是它们有着不同的内部结构。

材料的内部结构可分为不同层次，包括原子结构、原子的排列方式，以及显微组织和结构缺陷。如果同样的晶体材料，它的晶粒或是“相”的形态和分布改变，就可以大大地改善它的性能。无论是金属、陶瓷、半导体、高分子还是复合材料，它们的发展无一不与成分和结构密切相关。只有理解和控制材料的结构，才能得到人们所要求的材料性能。

而材料的制备/合成和加工不仅赋予材料一定的尺寸和形状，而且是控制材料成分和结构的必要手段。如钢材可以通过退火、淬火、回火等热处理来改变它们内部的结构而达到预期的性能，冷轧硅钢片经过复杂的加工工序能使晶粒按一定取向排列而大大减少铁损。飞机发动机的叶片可以通过铸造的凝固控制做成单晶体叶片，使之没有晶粒边界，大大提高它的使用温度和性能，光纤不仅要拉成微米级的细丝，而且要控制光纤从内到外的折射率的分布，等等。有时候可以说没有一种合成加工上的新的突破，就没有某一种新材料。如有了快速冷却的加工方法，才有了非晶态的金属合金。

4. 参考答案：材料的种类繁多，把那些已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料称之为传统材料或基础材料，如钢铁、水泥、塑料等。而把那些正在发展，且具有优异性能和应用前景的一类材料称之为先进材料或新材料。传统材料通过采用新技术、提高性能可以成为新材料，新材料经过长期生产和应用之后也就成为传统材料。目前新材料往往与新的加工技术联系在一起，如通过一种快速冷却或机械合金化等加工方法，可以制备非晶态的金属合金，而在这之前人们不知道金属还可以做成非晶态；其他如喷射沉积技术、半固态加工技术、净形薄带连续铸造技术等都是新的加工技术。某些高分子材料，采用挤压成丝工艺以后，使有机纤维的比强度和比刚度大幅度提高；采用 CVD + 熔融或离子交换制备新型光纤材料等等。

其中铝合金制备新技术有：热顶铸造、气隙铸造及电磁铸造技术，铝合金电磁铸轧技术，大型铝合金型材挤压技术，特宽铝合金中厚板轧制技术，半固态金属成形技术，铝合金显微组织结构预测及性能控制技术。

5. 参考答案：材料加工过程对材料使用性能有重要而复杂的影响，材料也必须通过合理的工艺流程才能制备出具有实用价值的材料来。通过合理和经济的合成和加工方法，可以不断创制出许多新材料或改变和精确控制许多传统材料的成分和结构，可以进一步发掘和提高材料的性能。

材料的制备/合成和加工不仅赋予材料一定的尺寸和形状，而且是控制材料成分和结构的必要手段。如钢材可以通过退火、淬火、回火等热处理来改变它们内部的结构而达到预期的性能，冷轧硅钢片经过复杂的加工工序能使晶粒按一定取向排列而大大减少铁损。飞机发动机的叶片可以通过铸造的凝固控制做成单晶体叶片，使之没有晶粒边界，大大提高它的使用温度和性能。

6. 参考答案：对于结构材料，最重要的性能指标之一是强度。强度是指材料抵抗变形和断裂的能力，提高材料的强度可以节约材料，降低成本。人们在利用材料的力学性能时，总是希望所使用的材料具有足够的强度，人们希望合理运用和发展材料强化方法，从而挖掘材料性能潜力的基础。

从理论上讲，提高金属材料强度有两条途径：一是完全消除内部的位错和其他缺陷，使它的强度接近于理论强度。目前虽然能够制出无位错的高强度金属晶须，但实际应用它还存在困难，因为这样获得的高强度是不稳定的，对操作效应和表面情况非常敏感，而且位错一旦产生后，强度就大大下降。因而在生产实践中，主要采用另一条途径来强化金属，即在金属中引入大量的缺陷，以阻碍位错的运动，例如金属材料的强化手段一般有固溶强化、细晶强化、第二相粒子强化、形变强化等。综合运用这些强化手段，也可以从另一方面接近理论强度，例如在铁和钛中可以达到理论强度的 38%。一些新型高强铝合金，如 Al-Li 合金、Al-Cu-Mg 系合金和 Al-Zn-Mg 系合金以及高 Zn 含量 Al-Zn-Mg 合金、Al-Mg-Sc 系合金、Al-Zn-Mg-Sc 系合金、铝基复合材料等，应用各种强化方法均获得了很高的强度和其他综合性能。

二、

1. Al 单胞中原子数 4，致密度 0.74，配位数 12，密排面 $\{111\}$ ，密排方向 $\langle 110 \rangle$ 。 α 的晶体结构 FCC。 α 与 θ 均是 Al 与 Cu 相互作用的结果， α 是固溶体，晶体结构与 Al 相同， θ 是化合物，晶体结构与 Al、Cu 均不相同。

2. 再结晶全图是变形金属变形程度、退火温度与退火后晶粒大小的图，起始再结晶温度指大变形金属退火 1h 后开始再结晶的温度。一种测定再结晶温度的方案可以是：大变形金属退火 1h 后，测量硬度变化，硬度大幅下降温度为开始再结晶温度。

3. 纯铝平衡结晶时，需要能量与结构起伏，x 合金平衡结晶时还需要成分起伏，结晶速度快于纯金属，有溶质原子再分配、成分过冷等。x 合金的平衡结晶组织转变过程为： $L \rightarrow \alpha$ ， α ， $\alpha \rightarrow \theta_{II}$ ，非平衡结晶中组织转变过程为： $L \rightarrow \alpha$ ，出现非平衡共晶， α ， $\alpha \rightarrow \theta_{II}$ 。

4. x 合金塑性变形后的组织、性能变化有加工硬化、组织纤维化、加工残余内应力，甚至有加工织构及其他物理化学性能变化。x 合金的室温强化措施有固溶强化、加工硬化、细化晶粒强化、沉淀强化等。位错理论解释为：固溶强化是固溶原子在位错周围形成各种气团，加工硬化是增加位错数目，细化晶粒强化是增加晶界数目，沉淀强化是第二相粒子与位错交互作用导致位错切过或绕过粒子，这些均增加了位错运动难度，使得强度上升。

三、

1. 图 10-2 的 x 合金的成分为： $w_A = 20\%$ ， $w_B = 40\%$ ， $w_C = 40\%$ 。

2. 图 10-3 中合金中 V 的平衡结晶过程为 $L \rightarrow \alpha$, $L \rightarrow (\alpha + \beta)_{\text{共晶}}$, $\alpha \rightarrow \beta_{\text{II}}$, α 与 β 互析。

四、常用的扩散机制有空位机制和间隙机制。两种激活能分别为 $E_1 = 83.7 \text{ kJ/mol}$ 和 $E_2 = 251 \text{ kJ/mol}$ 的扩散在温度从 25°C 升高到 600°C 时, 由 $D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$ 得: 当温度从 298K 提高到 873K 时, 扩散速率 D 分别提高 4.6×10^9 和 9.5×10^{28} 倍, 显示出温度对扩散速率的重要影响。激活能越大, 扩散速率对温度的敏感性越大。